

УДК 665.526.4, 615.322

ПОЛУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ СОСТАВА СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ УГЛЕКИСЛОТНЫХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЭКЗОКАРПИЯ *CITRUS MEYERI TAN.*

© *Е.И. Молохова*¹, *Е.И. Пономарева*^{1*}, *А.В. Кудинов*²

¹ *Пермская государственная фармацевтическая академия, ул. Крупской, 46, Пермь, 614070 (Россия), e-mail: romanova_e_@mail.ru*

² *Пермский национальный исследовательский политехнический университет, ул. Профессора Поздеева, 9Б, Пермь, 614013 (Россия)*

Цель данной работы – оценить эффективность использования сверхкритической углекислотной экстракции для получения эфирных масел из экзокарпия лимона Мейера в сравнении с методом прессования.

Растительное сырье представлено экзокарпием лимона Мейера – *Citrus meyeri Tan.*, семейства Рутовые – *Rutaceae*, собранных в окрестности г. Худжанде (Республика Таджикистан), в ноябре 2014 г. Сверхкритические углекислотные экстракты (СО₂-экстракты) получены в Научно-исследовательском центре экологических ресурсов «ГОРО» (Ростов-на-Дону) на установке КОЭРС1. В качестве сравнения использовали эфирное масло, полученное методом прямого прессования на гидравлических прессах без нагрева. Качественный и количественный анализ компонентов проводили методом газовой хроматографией с хромато-масс-спектрометрическим детектированием.

В результате исследования установлено, что оптимальными параметрами СО₂-экстракции, которые обеспечивают наибольшее содержание лимонена и γ -терпинена в экстракте, являются: 50 °С, 16 МПа и 30 мин. При сравнительном анализе содержания компонентов извлечений установлено, что выход лимонена при сверхкритической экстракции, по сравнению с традиционной технологией, увеличился на 7.5%, содержание γ -терпинена в 1.5 раза. Кроме того, установлено существенное различие в качественном и количественном составе эфирного масла и СО₂-экстракте лимона Мейера. В эфирном масле выше содержание: α и β -пинена, *n*-кумена, гераниала и др. В СО₂-экстракте выше содержание: сабинена, α -гумулена, β -бисаболена и др. низколетучих соединений, при этом присутствуют дополнительные 9 компонентов: α -туен, терпенолен, геранил ацетат и др., что указывает на необходимость проведения дополнительного фармакологического исследования СО₂-экстракта лимона Мейера.

Ключевые слова: сверхкритическая экстракция, СО₂-экстракт, эфирное масло, *Citrus meyeri*, лимон Мейера.

Введение

В Республике Таджикистан выращивают особый сорт лимонов – *Citrus meyeri Tan. (Rutaceae)* [1]. Этот гибрид настоящего лимона и апельсина или мандарина назван в честь американского исследователя Франца Мейера, который в 1908 году привез его из Китая [2–4].

Citrus meyeri Tan. – дерево, достигающее в высоту примерно от 2 до 3 м. Листья темно-зеленые, блестящие, как у других сортов лимона. Цветки белые с фиолетовым основанием, ароматные [5].

Плоды лимона Мейера желтые и более круглые, чем плоды лимона обыкновенного. Цедра ароматная и тонкая, темно-желтого цвета, при созревании появляется легкий оранжевый оттенок. Плоды лимона Мейера имеют более сладкий, менее кислый вкус, чем плоды более распространенных сортов лимона, таких как Лиссабон или Эврика. Мякоть темно-желтого цвета, содержит до 10 семян на один плод [4, 6].

В Институте гастроэнтерологии Республики Таджикистан под руководством д. мед. н. профессора Д.А. Азонова изучены фармакологические свойства эфирного масла *Citrus meyeri Tan.* Установлено, что

Молохова Елена Игоревна – профессор, доктор фармацевтических наук, профессор кафедры промышленной технологии лекарств с курсом биотехнологии, e-mail: profmol17@gmail.com

Пономарева Екатерина Ивановна – кандидат фармацевтических наук, e-mail: romanova_e_@mail.ru

Кудинов Андрей Викторович – старший преподаватель кафедры химических технологий, e-mail: kudinov@pstu.ru

эфирное масло лимона Мейера обладает желчегонным, противовоспалительным, гепатопротективным и спазмолитическими свойствами [7].

При производстве эфирного масла из плодов цитрусовых применяют механический метод,

* Автор, с которым следует вести переписку.

так как кожура плодов имеет крупные эфиромасличные вместилища. Прессование проводят на гидравлических прессах из кожуры, оставшейся после отжатия из плодов сока [8, 9]. Из 1 тонны плодов получают около 3–4 кг прессового масла [10, 11].

Одним из современных способов получения эфирного масла является сверхкритическая флюидная экстракция [12, 13]. Возросший интерес связан с уникальными свойствами сверхкритического флюида (СФ) как растворителя, используемого при экстракции. СФ сочетает в себе свойства газов (низкая вязкость, высокий коэффициент диффузии) и жидкости (высокая растворяющая способность), что положительно влияет на растворимость и массоперенос веществ, не растворимых в жидкой фазе [14, 15]. Растворяющая способность СФ чувствительна к изменению давления или температуры, т.е. при изменении этих параметров возможна экстракция веществ с различными размерами, молекулярной массой и полярностью [16, 17].

Широкое распространение для выделения биологически активных веществ (БАВ) из растительного сырья получил метод экстракции сжиженной углекислотой (CO_2 -экстракция) [18, 19]. Это объясняется в первую очередь тем, что в химическом отношении сжиженный CO_2 – прочное и инертное вещество, проявляющее полную химическую индифферентность по отношению к перерабатываемому сырью [18]. Группой авторов из Японии проведена оценка влияния условий CO_2 -экстрагирования на выход и состав эфирного масла лимона [20]. Результаты показали перспективность CO_2 -экстракции для извлечения лимонена, линалацетата и ряда других биологически активных веществ. Установлено, что состав эфирного масла зависит от хемотипа растения, поэтому актуально изучение эфирного масла из сырья, выращенного в Республике Таджикистан.

Цель данной работы – оценить эффективность использования сверхкритической углекислотной экстракции для получения эфирных масел из экзокарпия лимона Мейера в сравнении с методом прессования.

Экспериментальная часть

Растительное сырье. Образцы представлены экзокарпием лимона Мейера – *Citrus meyeri Tan.*, семейства Рутовые – *Rutaceae*, отделенные вручную с помощью ножей от зрелых плодов лимона Мейера, собранных в окрестностях г. Худжанде (Республика Таджикистан), в ноябре 2014 г., высушенные на воздухе при комнатной температуре. Сырье измельчали до частиц размером 1–5 см.

Сверхкритическая экстракция. CO_2 -экстракты получены в Научно-исследовательском центре экологических ресурсов «ГОРО» (Ростов-на-Дону) на установке КОЭРС1, состоящую из насоса высокого давления, нагревательного элемента, экстракционного сосуда, сепаратора, сборника экстракта и системы рециркуляции (рис. 1) с использованием методики, предназначенной для экстрагирования эфирных масел [19].

Методика получения CO_2 -экстрактов. 500 г измельченного растительного сырья помещали в контейнер, который опускали в термостатированную экстракционную камеру. После герметизации в реактор насосом высокого давления подавали жидкий диоксид углерода до создания рабочего давления и фиксировали время начала опыта. Далее многократно осуществляется процесс экстракции сырья сверхкритическим углекислым газом. По окончании процесса экстракции насос переключался на перекачку газа в рабочий баллон. При достижении в контуре исходного давления 3–4 МПа углекислотный насос отключался, а остаточное количество газа выбрасывалось в атмосферу через отводящий газопровод. При достижении в системе давления, равного атмосферному, открывался сборник и производилась разгрузка экстракта через сепаратор.

Для установления рациональных условий получения углекислотных экстрактов изучены следующие параметры процесса: давление (8–24 МПа), температура (40–60 °С) и продолжительность процесса (15–60 мин). Ограничение температурного диапазона до 60 °С связано с термолабильными свойствами БАВ экзокарпия лимона Мейера. Продолжительность экстракционного процесса 60 мин достаточна для сверхкритической экстракции БАВ из растительного сырья.

В эксперименте использовали трехкратную повторность при каждом изучаемом режиме.

Эфирное масло получено методом прямого прессования без нагрева на гидравлических прессах из свежего экзокарпия лимона Мейера – *Citrus meyeri Tan.*, семейства Рутовые – *Rutaceae* от зрелых плодов, собранных в городе Худжанде (Республика Таджикистан), в ноябре 2014 г.

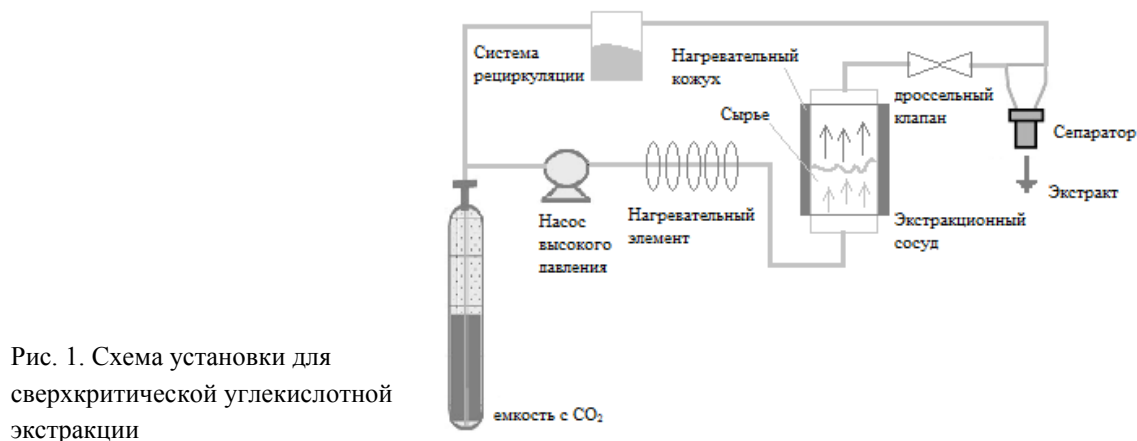


Рис. 1. Схема установки для сверхкритической углекислотной экстракции

Качественный и количественный анализ проводили после предварительного выделения летучей фракции из CO₂-экстрактов гидродистилляцией с насадкой Клевенджера методом газовой хроматографией с хромато-масс-спектрометрическим детектированием на хроматографе Varian CP 3800 с квадрупольным масс-спектрометром 4000MS в качестве детектора. Использовалась кварцевая колонка VF-5ms (5% фенил-, 95% диметилполисилоксан) длиной 30 м с внутренним диаметром 0.25 мм. Температура испарителя 280 °С, газ-носитель – гелий – 1 мл/мин. Температура колонки: 50 °С (2 мин), 50–270 °С (со скоростью 4 °С/мин), изотермический режим при 270 °С в течение 10 мин. Для анализа взято по три пробы каждого полученного экстракта, в рамках одного анализа осуществляли по два вкола.

Идентификацию отдельных компонентов производили на основе сравнения времен удерживания, индексов Ковача и полных масс-спектров входящих в программное обеспечение хромато-масс-спектрометра и данных масс-спектров и линейных индексов удерживания NIST ChemistryWebBook. Для количественного определения содержания компонентов использовали метод нормирования, используя площади пиков. Для лимонена проводили градуировку зависимости площади пика от концентрации вещества, с использованием стандарта фирмы Alfa Aesar: лимонен (L04733.AP) – 97%.

Для изучения влияния технологических параметров на состав извлечений, полученных сверхкритической экстракцией, рассмотрены три группы соединений эфирного масла лимона Мейера:

- 1) основные компоненты, % содержание, которых в эфирном масле преобладает: лимонен и γ -терпинен [21];
- 2) легколетучие соединения: α - и β -пинен [22];
- 3) низколетучие соединения β -бисаболен, характеризующий полноту извлечения компонентов эфирного масла [19].

Выход извлечения рассчитывали по формуле:

$$\eta = m_2 / m_1 \times 100,$$

где η – выход извлечения, %; m_1 – масса исходного сырья, г; m_2 – масса экстракта, г.

Статистическую обработку результатов исследований проводили по методикам согласно ОФС.1.1.0013.15 «Статистическая обработка результатов химического эксперимента». Статистическую обработку всех данных осуществляли с применением пакета прикладных программ Excel 2010.

Результаты и обсуждения

Влияние технологических параметров СФЭ на выход основных компонентов лимона Мейера

Исследована зависимость выхода CO₂-экстракта из лимона Мейера от давления в интервале от 8 до 24 МПа (время 30 мин, температура 40 °С). При повышении давления наблюдалось увеличение выхода экстракта (рис. 2). В интервале давлений от 8 до 16 МПа он увеличился на 50% с последующим ростом до 17%. Это объясняется возрастанием плотности флюидного потока растворителя, что повышает его растворяющую способность для неполярных веществ.

Установлено, что при 60 °С (рис. 3), вследствие повышения растворяющей способности растворителя для липофильных веществ наблюдается увеличение общего выхода экстрактивных веществ на 19.7%.

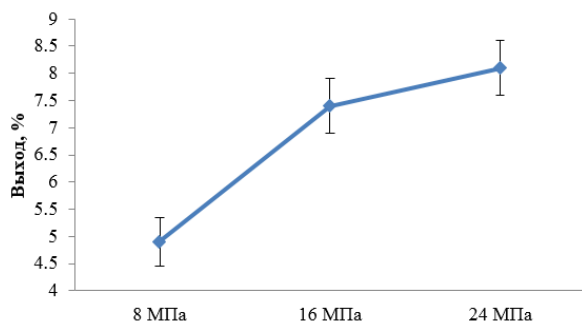


Рис. 2. Изотерма выхода экстрактивных веществ из кожуры лимона Мейера (температура 40 °С, время 30 мин) с доверительными интервалами (при $\gamma=0.95$)

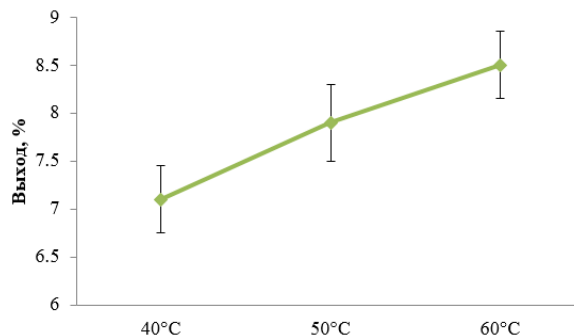


Рис. 3. Изобара выхода экстрактивных веществ из кожуры лимона Мейера (давление 16 МПа, время 30 мин) с доверительными интервалами (при $\gamma=0.95$)

Установлено, что изменение времени CO_2 -экстрагирования с 15 до 30 мин приводит к увеличению выхода в 2.1 раза, что указывает на более полное извлечение комплекса биологически активных веществ (рис. 4). Увеличение длительности процесса экстракции до 60 мин не приводило к значительному повышению выхода экстракта.

Обобщив полученные данные по влиянию технологических параметров сверхкритической углекислотной реакции на выход действующих веществ, установлены рациональные режимы проведения процесса: давление – 16 МПа, температура – 50 °С, продолжительность процесса – 30 мин, обеспечивающих наибольшее содержание в извлечениях основных компонентов: лимонена и γ -терпинена [7]. Результаты качественного и количественного определения компонентов извлечения представлены в таблице 1.

Выбранные параметры использованы при получении CO_2 -экстракта лимона Мейера, который исследовался методом ГХ-МС. Хроматограммы углекислотного экстракта и эфирного масла, полученного методом прессования, представлены на рисунке 5.

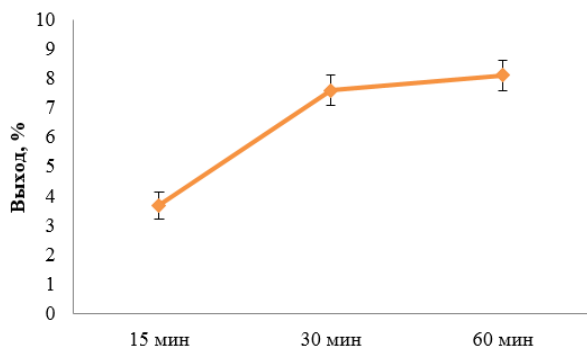


Рис. 4. Влияние времени экстракции на выход извлечения (давление 16 МПа, температуре 40 °С) с доверительными интервалами (при $\gamma=0.95$)

Таблица 1. Содержание компонентов в CO_2 -экстракте лимона Мейера, %

Компонент	Среднее с отклонениями
Лимонен	71.48±1.44
γ -терпинен	10.90±0.23
α -пинен	1.30±0.07
β -пинен	6.53±0.07
β -бисаболен	1.08±0.02

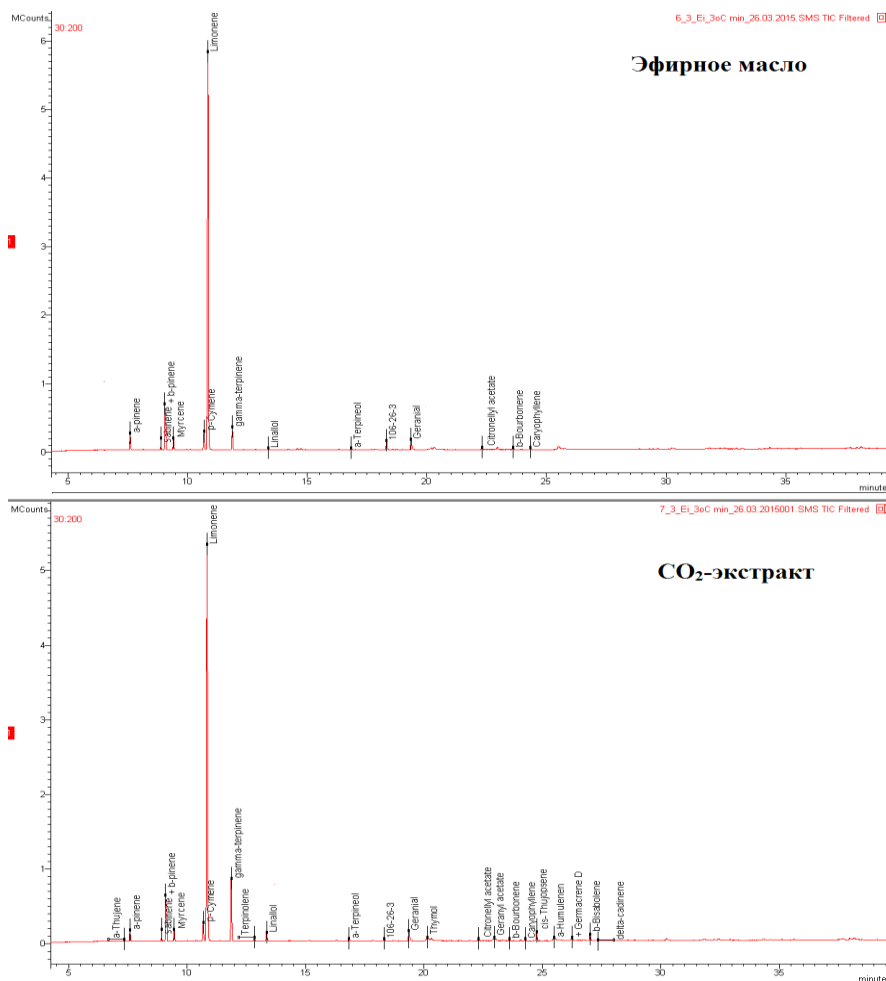


Рис. 5. Хроматограммы эфирного масла и углекислотного экстракта лимона Мейера

При сравнительном анализе компонентов извлечений (табл. 2) установлено, что содержание основного компонента лимонена больше при сверхкритической экстракции по сравнению с традиционной технологией (на 7.5%). Содержание γ -терпинена выше в 1.5 раза в CO_2 -экстракте, чем в эфирном масле. Представляет особый интерес изучение CO_2 -экстракта с точки зрения фармакологического действия, так как установлено, что γ -терпинен обладает высокой биологической активностью [23]. Кроме того, установлены существенные различия в качественном и количественном составе эфирного масла и CO_2 -экстракте лимона Мейера. В эфирном масле выше содержание: α - и β -пинена, *n*-кумена, гераниаля и др. В CO_2 -экстракте выше содержание: сабинена, α -гумулена, β -бисаболена и др. низколетучих соединений, при этом присутствуют дополнительные 9 компонентов: α -туен, терпенолен, геранил ацетат и др., что указывает на необходимость проведения дополнительного фармакологического исследования CO_2 -экстракта лимона Мейера.

Таблица 2. Химический состав эфирного масла и CO_2 -экстракта лимона Мейера

Наименование компонента	Время удерживания, мин	Индекс Ковача	Содержание компонента, %	
			Эфирное масло	CO_2 -экстракт
1	2	3	4	5
α -туен	7.335	925	–	0.15
α -пинен	7.621	934	2.81	1.28
Сабинен	8.868	973	0.34	0.95
β -пинен	9.041	978	7.89	5.27
Мирцен	9.396	989	1.98	1.23
<i>n</i> -кумен	10.665	1026	3.44	1.21
Лимонен	10.828	1030	71.86	77.31
γ -терпинен	11.852	1059	4.92	7.66

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
Терпенолен	12.824	1086	–	0.23
Линалоол	13.392	1102	0.41	0.32
α -терпинеол	16.873	1200	0.42	0.42
<i>цис</i> - <i>n</i> -мента-1(7), 8-диен-2-ол	18.308	1241	1.99	0.31
Гераниаль	19.335	1271	2.71	0.29
Тимол	20.206	1296	–	0.23
Цитронил ацетат	22.288	1359	0.51	0.35
Геранил ацетат	22.907	1378	–	0.17
β -бурбунен	23.586	1399	0.32	0.32
Кариофиллен	24.348	1423	0.40	0.43
<i>цис</i> -гуопсен	24.695	1435	–	0.57
α -гумулен	25.481	1460	–	0.51
Гермакрен D	26.266	1485	–	0.31
β -бисаболен	26.995	1509	–	0.45
δ -кадинен	27.374	1522	–	0.03

Вывод

Экспериментально установлено, что углекислотный экстракт лимона Мейера обладает более высоким содержанием БАВ по сравнению с эфирным маслом, это показывает актуальность фармакологического исследования экстракта с целью использования его в качестве лекарственного средства.

Список литературы

1. Шорейт Б., Ёрматов А. Выращивание лимонов в малых и средних дехканских хозяйствах в Таджикистане. Лимоны Мейера // АгроИнформ. [Электронный ресурс]. URL: http://www.agroinform.tj/project1/publications/asti_files/apricots_lemons/RUS%20Lemon_Brochure_Basic.pdf
2. Miyake Y., Ito C., Itoigawa M. A novel trans-4-hydroxycinnamic acid derivative from Meyer lemon (*Citrus meyeri*) // Food Chemistry. 2012. N135. Pp. 2235–2237.
3. Morton F. J. Lemon. In: Fruits of warm climates // Fruits of warm climates. 1987. Pp. 160–168.
4. Шарипов З., Бобоев И.А. Состояние и перспектива развития цитрусоводства в Таджикистане // Кишоварз. 2014. №3. С. 16–18.
5. Lim T.K. Chapter Citrus «Meyer» // Edible medicinal and non-medicinal plants. 2012. Vol. 4. Pp. 619–622.
6. Lemon. Citrus \times limon and its relatives // Citrus Pages. [Электронный ресурс]. URL: <http://citruspages.free.fr/lemons.html#meyerii>
7. Азонов Д.А., Холов А.К., Разыкова Г.В. Лечебные свойства гераноретинола и эфирных масел: (эксперим. исслед.). Душанбе, 2011. 127 с.
8. Войткевич С.А. Целебные растения и эфирные масла. М., 2002. 172 с.
9. Егорова А.М., Решетникова О.В. Особенности производства эфирных масел // II Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика: материалы Междунар. науч.-практ. конференции. СПб., 2014. С. 42–49.
10. Мишарина Т.А., Теренина М.Б., Крикунова Н.И., Калинин М.А. Влияние состава эфирных масел лимона на их антиоксидантные свойства и стабильность компонентов // Химия растительного сырья. 2010. №1. С. 87–92.
11. Паршикова В.Н. Формирование качества гидродистилляционных цитрусовых эфирных масел // Известия вузов. Пищевая технология. 2006. №2–3. С. 33–36.
12. Цихмейстер Е.В., Гумеров Ф.М. Применение суб- и сверхкритических флюидов в экстракционных процессах // Вестник Казанского технологического университета. 2012. №10. С. 98–99.
13. Букеева А.Б., Кудайбергенова С.Ж. Обзор современных методов выделения биоактивных веществ из растений // Вестн. ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. 2012. №2. С. 192–197.
14. Залепугин Д.Ю., Тилькунова Н.А., Чернышова И.В., Поляков В.С. Развитие технологий, основанных на использовании сверхкритических флюидов // Сверхкритические флюиды: Теория и Практика. 2006. №1. С. 27–51.
15. Гумеров Ф., Яруллин Р. Сверхкритические флюиды и СКФ-технологии // The Chemical Journal. 2008. №10. С. 26–30.
16. Сидельников В.Н., Патрушев Ю.В., Сизова Н.В., Петренко Т.В. Сравнительный анализ состава пихтового масла, полученного водно-паровой дистилляцией и эфиромасличной фракции CO₂-экстракта лапки пихты сибирской // Химия растительного сырья. 2003. №1. С. 79–85.
17. Тигунцева Н.П., Евстафьев С.Н. Сравнительное исследование состава эфирного масла, гексанового и сверхкритического CO₂-экстрактов из корней одуванчика лекарственного // Химия растительного сырья. 2013. №3. С. 129–136.
18. Касьянов Г.И. Техника и технология использования диоксида углерода в суби сверхкритическом состоянии // Вестник ВГУИТ. 2014. №1(59). С. 130–135.

19. Рудь Н.К., Сампиев А.М. Разработка технологии получения сверхкритического углекислотного экстракта из семян чернушки посевной // Научное обозрение. 2015. №5. С. 66–73.
20. Sugiyama K., Saito M. Simple microscale supercritical fluid extraction system and its application to gas chromatography-mass spectrometry of lemon peel oil // Journal of Chromatography A. 1988. Vol. 442. Pp. 121–131.
21. Moshonas M.G., Shaw P.E., Veldhuis M.K. Analysis of volatile constituents from Meyer Lemon oil // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1972. Vol. 20. N4. Pp. 751–752.
22. Зилфикаров И.Н., Челомбитько В.А., Алиев А.М. Обработка лекарственного растительного сырья сжиженными газами и сверхкритическими флюидами (монография). Пятигорск, 2007. 244 с.
23. Bayala B., Bassole I.H.N., Gnoula C., Nebie R., Yonli A., Morel L., Figueredo G., Simpore J. Chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory and anti-proliferative activities of essential oils of plants from Burkina Faso // PLOS ONE. 2014. Vol. 9. N3. Article e92122.

Поступила в редакцию 25 мая 2018 г.

После переработки 25 сентября 2019 г.

Принята к публикации 6 ноября 2019 г.

Для цитирования: Молохова Е.И., Пономарева Е.И., Кудинов А.В. Получение и анализ состава сверхкритических углекислотных экстрактов из экзокарпия *Citrus meyeri* Tan. // Химия растительного сырья. 2020. №1. С. 321–328. DOI: 10.14258/jcprm.2020014082.

Molokhova Ye.I.¹, Ponomareva Ye.I.^{1}, Kudinov A.V.²* PRODUCTION AND ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE EXTRACTS FROM EXOCARPY *CITRUS MEYERI* TAN.

¹ Perm State Pharmaceutical Academy of the Ministry of Health of the Russian Federation, ul. Krupskoy, 46, Perm, 614070 (Russia), e-mail: romanova_e_@mail.ru

² Perm National Research Polytechnic University, ul. Professora Pozdeeva, 9B, Perm, 614013 (Russia)

The purpose of this work is to evaluate the effectiveness of using supercritical carbon dioxide extraction to obtain essential oils from exocarp of Meyer lemon in comparison with the pressing method.

The plant material is represented by the exocarp of Meyer lemon *Citrus meyeri* Tan., Rutovye family – *Rutaceae*, collected in the vicinity of Khujand (Republic of Tajikistan), in November 2014. Supercritical carbon dioxide extracts (CO₂ extracts) were obtained at the Research Center for Ecological GORO resources (Rostov-on-Don) at the KOERS1 installation. As a comparison, we used the essential oil obtained by direct pressing on hydraulic presses without heating. Qualitative and quantitative analysis of the components was carried out by gas chromatography with chromatography-mass spectrometric detection.

As a result of the study, it was found that the optimal parameters of CO₂ extraction, which provide the highest content of limonene and γ -terpinene in the extract, are: 50 °C, 16 MPa, and 30 min. A comparative analysis of the content of extract components showed that the yield of limonene during supercritical extraction, compared with traditional technology, increased by 7.5%, the γ -terpinene content was 1.5 times. In addition, significant differences were found in the qualitative and quantitative composition of the essential oil and the CO₂ extract of Meyer lemon. In essential oil, the content is higher: α - and β -pinene, p-cumene, geranial, and others. In the CO₂ extract, the content is higher: sabinene, α -humulene, β -bisabolene and other low-volatile compounds, with an additional 9 components: α -thuen, terpenolene, geranyl acetate, etc., which indicates the need for an additional pharmacological study of the CO₂-extract of Meyer lemon.

Keywords: supercritical extraction, CO₂ extract, essential oil, *Citrus meyeri*, Meyer lemon.

* Corresponding author.

References

1. Shoreyt B., Yormatov A. *Vyrashchivaniye limonov v malykh i srednikh dekhkanskikh khozyaystvakh v Tadjikistane. Limony Meyyera // AgroInform*. [Cultivation of lemons in small and medium dekhkan farms in Tajikistan. Meyer lemons // AgroInform]. [Electronic resource]. URL: http://www.agroinform.tj/project1/publications/asti_files/apricots_lemons/RUS%20Lemon_Brochure_Basic.pdf (in Russ.).
2. Miyake Y., Ito C., Itoigawa M. *Food Chemistry*, 2012, no. 135, pp. 2235–2237.
3. Morton F. J. *Fruits of warm climates*, 1987, pp. 160–168.
4. Sharipov Z., Boboyev I.A. *Kishovarz*, 2014, no. 3, pp. 16–18 (in Russ.).
5. Lim T.K. *Edible medicinal and non-medicinal plants*, 2012, vol. 4, pp. 619–622.
6. Lemon. Citrus × limon and its relatives // Citrus Pages. [Electronic resource]. URL: <http://citruspages.free.fr/lemons.html#meyerii>
7. Azonov D.A., Kholov A.K., Razykova G.V. *Lechebnyye svoystva geranoretinola i efirnykh masel: (eksperimental'noye issledovaniye)*. [The healing properties of geranoretinol and essential oils: (experimental study)]. Dushanbe, 2011, 127 p.
8. Voytkovich S.A. *Tselebnyye rasteniya i efirnyye masla*. [Healing Plants and Essential Oils]. Moscow, 2002, 172 p. (in Russ.).
9. Yegorova A.M., Reshetnikova O.V. *II Luzhskiy nauchnyye chteniya. Sovremennoye nauchnoye znaniye: teoriya i praktika. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [II Luga scientific readings. Modern scientific knowledge: theory and practice. Materials of the international scientific-practical conference]. St. Petersburg, 2014, pp. 42–49 (in Russ.).
10. Misharina T.A., Terenina M.B., Krikunova N.I., Kalinchenko M.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 1, pp. 87–92. (in Russ.).
11. Parshikova V.N. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2006, no. 2–3, pp. 33–36 (in Russ.).
12. Tsikhmeistr Ye.V., Gumerov F.M. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012, no. 10, pp. 98–99 (in Russ.).
13. Bukeyeva A.B., Kudaybergenova S.Zh. *Vestn. YeNU im. L.N. Gumileva*, 2012, no. 2, pp. 192–197. (in Russ.).
14. Zalepugin D.Yu., Til'kunova N.A., Chernyshova I.V., Polyakov V.S. *Sverkhkriticheskiye Flyuidy: Teoriya i Praktika*, 2006, no. 1, pp. 27–51 (in Russ.).
15. Gumerov F., Yarullin R. *The Chemical Journal*. 2008, no. 10, pp. 26–30 (in Russ.).
16. Sidel'nikov V.N., Patrushev Yu.V., Sizova N.V., Petrenko T.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2003, no. 1, pp. 79–85 (in Russ.).
17. Tiguntseva N.P., Yevstaf'yev S.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 3, pp. 129–136 (in Russ.).
18. Kas'yanov G.I. *Vestnik VGUIT*, 2014, no. 1(59), pp. 130–135 (in Russ.).
19. Rud' N.K., Sampiyev A.M. *Nauchnoye obozreniye*, 2015, no. 5, pp. 66–73 (in Russ.).
20. Sugiyama K., Saito M. *Journal of Chromatography A*, 1988, vol. 442, pp. 121–131.
21. Moshonas M.G., Shaw P.E., Veldhuis M.K. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1972, vol. 20, no. 4, pp. 751–752.
22. Zilfikarov I.N., Chelombit'ko V.A., Aliyev A.M. *Obrabotka lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya szhizhen-nymi gazami i sverkhkriticheskimi flyuidami (monografiya)*. [Processing of medicinal plant materials with liquefied gases and supercritical fluids (monograph)]. Pyatigorsk, 2007, 244 p. (in Russ.).
23. Bayala B., Bassole I.H.N., Gnoula C., Nebie R., Yonli A., Morel L., Figueredo G., Simporé J. *PLOS ONE*, 2014, vol. 9, no. 3, article e92122.

Received May 25, 2018

Revised September 25, 2019

Accepted November 6, 2019

For citing: Molokhova Ye.I., Ponomareva Ye.I., Kudinov A.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 1, pp. 321–328. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020014082.